全株甘蔗对山羊生长性能、营养物质表观消化率、血清指标及瘤胃发酵参数的影响

黄文琴[1] 吕小康[1] 王世琴[1] 杨承剑[2] 蒋小刚[3] 刁其玉[1] 张乃锋[1*]

（1. 中国农业科学院饲料研究所，农业部饲料生物技术重点开放实验室，北京 100081；2. 中国农业科学院广西水牛研究所，南宁 530001；3. 广西扶绥广羊农牧有限公司，扶绥 532100）

摘 要：本试验旨在研究饲粮中添加不同比例全株甘蔗对山羊生长性能、营养物质表观消化率、血清指标及瘤胃发酵参数的影响。试验选取4～5月龄、体重相近、健康状况良好的断奶山羊96只，随机分为4组，每组3个重复，每个重复8只羊。对照组（CON组）饲喂基础饲粮，试验组（SC33、SC66和SC100组）分别用全株甘蔗替代33％、66％和100％的全株青贮玉米。预试期5 d，正试期30 d。结果表明：1）各组之间山羊终末体重、平均日增重、料重比均无显著差异(P＞0.05)。随着全株甘蔗添加比例的增加，山羊平均日采食量（ADFI）呈线性增加（P＜0.05），SC100组山羊ADFI显著高于其他3组（P＜0.05）。2）随着全株甘蔗添加比例的增加，干物质、有机物、总能、中性洗涤纤维（NDF）及酸性洗涤纤维（ADF）表观消化率呈线性下降（P＜0.05），CON、SC33组均显著高于SC66、SC100组(P＜0.05)。3）随着全株甘蔗添加比例的增加，血清总抗氧化能力（T-AOC）、超氧化物歧化酶（SOD）活性均呈线性增加（P＜0.05），SC66、SC100组均显著高于CON、SC33组（P＜0.05）；血清丙二醛（MDA）含量呈线性降低(P＜0.05)，SC66、SC100组显著低于CON、SC33组(P＜0.05)。4）SC100组血清免疫球蛋白G含量显著低于CON、SC66组（P＜0.05），SC66组血清免疫球蛋白A含量显著低于其他3组（P＜0.05），SC66、SC100组血清免疫球蛋白M含量显著高于CON、SC33组(P＜0.05)。CON、SC100组血清尿酸含量显著高于SC33、SC66组(P＜0.05)，SC100组血清肌酐含量显著高于其他3组(P＜0.05)。5）CON组瘤胃液总挥发性脂肪酸浓度显著高于SC66组（P<0.05），CON组乙酸比例显著高于其他3组（P<0.05），SC100组丙酸比例显著高于其他3组（P<0.05），CON组乙酸/丙酸显著高于其他3组（P<0.05）。综上所述，饲粮中添加全株甘蔗有利于提高山羊采食性能，增强机体的抗氧化能力和免疫力。建议全株甘蔗适宜添加比例为33%～66%。

关键词：全株甘蔗；山羊；生长性能；血清指标；瘤胃发酵

中图分类号：S826

我国甘蔗种植面积居世界第3，甘蔗种植区主要分布于广西、广东、云南、四川、福建等南方省份。据《中

收稿日期：2018-05-11

基金项目：公益性行业（农业）科研专项经费（201403049）；国家重点研发计划项目（2017YFD0502001）

作者简介：黄文琴(1995-)，女，江西南昌人，硕士研究生，研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail： m13121271017@163.com

*通信作者：张乃锋，研究员，博士生导师，E-mail: zhangnaifeng@caas.cn

国统计年鉴—2016》报道，截至 2015 年底，我国甘蔗种植面积 160 万 hm^2，产量达 11 696.8 万 t，资源量巨大。饲料化开发不仅解决了甘蔗加工产品单一、市场风险抵抗能力差的问题，还有效解决了草食动物饲料资源的不足，节约粮食，缓解环境压力。甘蔗部分替代青贮玉米，能降低生产成本，对动物生长性能无不良影响[1]。与常规能量饲料如玉米和高粱相比，青绿甘蔗的生产价值高于其营养价值[2]。甘蔗适口性好、富含抗氧化活性物质，但由于其粗纤维含量高、消化率低，限制了其在饲粮中的添加水平，因此探究反刍动物饲粮中甘蔗适宜添加比例尤为重要。

我国山羊存栏量接近 1.5 亿只，且主要饲养于南方地区，随着该地区草食畜禽养殖业产业结构调整，粗饲料资源匮乏已经成为制约羊产业发展的重要因素，开发新的粗饲料资源显得尤为迫切。如将南方多产的油菜秆制成颗粒料饲喂生长湖羊不影响其生长，并可降低养殖成本[3]；用木薯渣替代部分玉米在湖羊养殖上也取得较好的经济效益[4]。甘蔗及其副产物作为南方地区常见的非常规饲料资源对牛、羊的营养及饲养价值的研究报道很少[5]。有关泌乳牛的研究认为，甘蔗的添加比例为 33%时泌乳牛表现良好的生长性能[6]。但全株甘蔗在山羊饲粮中适宜的添加比例及其对生长山羊生长性能的影响未见报道。本文旨在从山羊的生长性能、营养物质表观消化率、血清指标和瘤胃发酵指标等方面探讨甘蔗在山羊饲粮中适宜的添加比例，为其实际应用提供技术支撑。

1　材料与方法

1.1　试验动物及试验设计

试验选取 4～5 月龄、体重相近、健康状况良好的断奶努比亚山羊 96 只，随机分为 4 组，每组 3 个重复，每重复 8 只。对照组（CON 组）饲喂基础饲粮，试验组（SC33、SC66、SC100 组）分别用全株甘蔗替代 33%、66%和 100%的全株玉米青贮。预试期 5 d，正试期 30 d。预试期试验组山羊饲粮中甘蔗添加比例为所需添加比例的 1/3、2/3 逐步添加，直至第 5 天各组饲粮甘蔗添加比例达到试验要求。

1.2　试验饲粮

试验所用饲料原料均为就近采购。参考张丽英[7]的方法测定试验饲料原料及饲粮的营养水平，参照刘洁[8]的方法计算饲粮代谢能（ME）。饲料原料营养水平见表 1，试验饲粮组成及营养水平见表 2。

表 1　饲料原料营养水平（干物质基础）

Table 1　Nutrient levels of feed ingredients (DM basis)　　%

项目 Items	全株甘蔗 Whole sugarcane	全株玉米青贮 Whole silage cor	花生秧 Peanut stalk	玉米粉 Corn flour	发酵料 Fermented feed	浓缩料 Concentrate feed

干物质 DM	20.62	25.90	80.26	85.47	48.85	84.49
粗蛋白质 CP	6.82	8.67	8.25	9.26	12.89	37.21
中性洗涤纤维 NDF	33.82	60.80	47.16	18.98	31.43	35.09
酸性洗涤纤维 ADF	20.91	28.26	33.71	5.07	9.05	21.93
钙 Ca	0.30	0.44	0.75	0.43	0.59	3.92
总磷 TP	0.17	0.19	0.18	0.23	0.22	0.53

实测值 Measured values。

表 2　饲粮组成及其营养水平（干物质基础）

Table 2　Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis)　%

项目 Items	组别 Groups CON	SC33	SC66	SC100
原料 Ingredients				
全株甘蔗 Whole sugarcane		20.8	41.7	62.5
全株玉米青贮 Whole silage corn	62.5	41.7	20.8	
花生秧 Peanut stalk	8.3	8.3	8.3	8.3
玉米粉 Corn flour	5.8	5.8	5.8	5.8
发酵料 Fermented feed	20.8	20.8	20.8	20.8
浓缩料 Concentrate feed	2.6	2.6	2.6	2.6
合计 Total	100.0	100.0	100.0	100.0
营养水平 Nutrient levels				
干物质 DM	49.04	55.16	59.27	60.65
总能 GE/(MJ/kg)	17.38	17.09	17.01	16.52
代谢能 ME/(MJ/kg)	7.16	6.74	7.11	6.67
粗蛋白质 CP	11.56	9.71	10.11	9.84
粗脂肪 EE	2.35	2.52	2.40	2.30
中性洗涤纤维 NDF	65.61	62.04	61.13	57.77
酸性洗涤纤维 ADF	31.09	33.43	31.28	32.93
钙 Ca	0.81	1.05	0.94	1.05
总磷 TP	0.32	0.31	0.33	0.31

代谢能为计算值，其他均为实测值。

ME was calculated value, while the others were measured values.

1. 3　饲养管理

试验于 2017 年 7 月 18 日到 2017 年 9 月 22 日在广西省崇左市扶绥县广羊农牧有限公司进行。每个重复 8 只羊饲养于一个栏位，均打耳号。试验羊饲养于半开放羊舍，通风良好，正试期试验羊于每天 08:00 和 16:00 饲喂 2 次，自由采食与饮水。山羊饲养管理参照羊场日常饲养管理方法，保持圈内清洁干燥，定期进行消毒。

1.4　样品收集与指标测定

1.4.1　生长性能

试验开始和正试期第 25 天以重复为单位分别对每组羔羊称重，每天记录羔羊的饲喂量及剩余量，计算平均日增重（ADG）、平均日采食量（ADFI）和料重比（F/G）。

1.4.2　营养物质表观消化率

试验结束前 10 d，收集山羊粪便，采用内源指示剂法（酸不溶灰分法）进行消化试验，测定营养物质表观消化率。预试期 5 d，正试期 5 d，正试期连续收集粪样 5 d。每重复挑选健康无病、体重接近平均体重的 1 只羊，每天收集粪便 200 g，加入 20 mL 10%硫酸立即冷冻保存，试验结束后，将每只试验羊的所有粪样全部均匀混合，并取适量于 65 ℃烘箱烘干测定初水分，粉碎后过 0.45 mm 筛，用于测定营养物质表观消化率。

1.4.3　血清指标

正试期第 25 天，早上饲喂前 1 h，每个重复随机选取 1 只羔羊于颈静脉采血 10 mL，置于含有二氧化硅的促凝管内，静置 30 min 后，3 000 r/min 离心 20 min，收集血清，-20 ℃保存，用于测定山羊血清抗氧化和生化指标。

1.4.4　瘤胃发酵指标

试验结束前 1 天，早上饲喂 3 h 后，每重复随机选取 2 只羔羊，通过胃管取瘤胃液约 50 mL，即时测定 pH，然后用 4 层纱布过滤，滤液中加入 2 滴 10% $HgCl_2$ 溶液，灭活酶的活性、灭活瘤胃微生物；将滤液分装于 3 个 15 mL 的冻存管中，冷冻(-20 ℃)保存，备测氨态氮（NH_3-N）和挥发性脂肪酸（VFA）浓度。瘤胃液置于 4 ℃解冻后采用苯酚-次氯酸钠比色法检测瘤胃 NH_3-N 浓度，用气相色谱法测定瘤胃液 VFA 浓度。

1. 5　数据统计分析

试验数据采用 SPSS 19.0 单因素方差分析（one-way ANOVA）方法进行组间差异显著性统计，差异显著则

采用 Duncan 氏法进行多重比较，并利用多项式比较分析全株甘蔗添加比例增加导致的线性及二次曲线关系。*P*＜0.05 为差异显著判别标准。

2 结　果

2.1 饲粮添加全株甘蔗对山羊生长性能的影响

由表 3 可以看出，各组之间山羊初始体重无显著差异（*P*＞0.05），符合试验要求。各组之间山羊终末体重差异不显著(*P*＞0.05)，各组之间山羊 ADG 和 F/G 均差异不显著（*P*＞0.05）。随着全株甘蔗添加比例的增加，山羊 ADFI 呈线性增加（*P*＜0.05），SC100 组山羊 ADFI 显著高于其他 3 组（*P*＜0.05）。

表 3　饲粮添加全株甘蔗对生长山羊生长性能的影响

Table3　Effects of dietary whole sugarcane supplementation on growth performance of goats (*n*=96)

项目	组别 Groups					*P* 值 *P*-value		
Items	CON	SC33	SC66	SC100	SEM	组间 Group	线性 Linear	二次 Quadratic
初始体重 IBW/kg	31.68	30.29	32.43	30.62	0.48	0.450		
终末体重 FBW/kg	33.51	32.56	34.94	32.44	0.54	0.418	0.856	0.484
平均日增重 ADG/(g/d)	61.25	75.69	66.81	70.14	3.33	0.762	0.400	0.666
平均日采食量 ADFI/(g/d)	1 006.77[d]	1 164.41[c]	1 247.5[b]	1 289.11[a]	32.89	＜0.001	0.002	0.510
料重比 F/G	12.18	15.80	18.18	16.80	1.13	0.357	0.128	0.276

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05），相同或无字母表示差异不显著（*P*>0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (*P*<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (*P*>0.05). The same as below.

2.2 饲粮添加全株甘蔗对山羊营养物质表观消化率的影响

由表 4 可以看出，山羊的干物质、有机物、总能、中性洗涤纤维（NDF）及酸性洗涤纤维（ADF）的表观消化率均随着全株甘蔗添加比例的增加而呈线性降低(*P*＜0.05)，CON、SC33 组均显著高于 SC66、SC100 组(*P*＜0.05)。各组之间山羊的粗蛋白质、粗脂肪表观消化率差异不显著(*P*＞0.05)。

表 4　饲粮添加全株甘蔗对生长山羊营养物质表观消化率的影响

Table 4　Effects of dietary whole sugarcane supplementation on nutrient apparent digestibility of goats (*n*=24)　　%

项目	组别 Groups	*P* 值 *P*-value

Items	CON	SC33	SC66	SC100	SEM	组间 Group	线性 Linear	二次 Quadratic
干物质 DM	60.93[b]	63.05[a]	54.53[c]	56.35[c]	1.06	＜0.001	＜0.001	0.798
有机物 OM	63.01[a]	64.36[a]	56.34[b]	57.75[b]	1.05	＜0.001	＜0.001	0.959
粗蛋白质 CP	59.84	57.39	59.94	58.90	0.44	0.131	0.939	0.369
总能 GE	62.64[a]	63.51[a]	54.77[b]	51.10[b]	1.25	＜0.001	＜0.001	0.822
粗脂肪 EE	77.44	76.30	71.76	69.51	1.66	0.310	0.080	0.865
中性洗涤纤维 NDF	64.97[a]	62.00[a]	54.47[b]	53.09[b]	1.49	＜0.001	＜0.001	0.236
酸性洗涤纤维 ADF	47.42[a]	49.68[a]	36.76[c]	41.89[b]	1.63	0.001	0.002	0.346

2.3　饲粮添加全株甘蔗对山羊血清抗氧化指标的影响

由表 5 可以看出，随着全株甘蔗添加比例的增加，血清总抗氧化能力（T-AOC）、超氧化物歧化酶（SOD）活性均呈线性增加（*P*＜0.05），SC66、SC100 组显著高于 CON、SC33 组（*P*＜0.05），且 SC100 组血清 T-AOC 显著高于 SC66 组(*P*＜0.05)。随着全株甘蔗添加比例的增加，血清丙二醛（MDA）含量呈线性降低(*P*＜0.05)，SC66、SC100 组显著低于 CON、SC33 组(*P*＜0.05)。各组之间血清谷胱甘肽还原酶（GR）活性差异不显著(*P*＞0.05)。

表 5　饲粮添加全株甘蔗对生长山羊血清抗氧化指标的影响

Table 5　Effects of dietary whole sugarcane supplementation on serum antioxidant indexes of goats (*n*=24)

项目	组别 Groups				SEM	*P* 值 *P*-value		
Items	CON	SC33	SC66	SC100		组间 Group	线性 Linear	二次 Quadratic
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	8.80[c]	8.53[c]	9.53[b]	9.99[a]	0.14	＜0.001	＜0.001	0.070
谷胱甘肽还原酶 GR/(μmol/L)	3.93	3.76	4.06	4.18	0.09	0.509	0.226	0.509
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	92.70[b]	92.53[b]	96.30[a]	95.94[a]	0.53	0.002	0.001	0.970
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	4.86[a]	4.98[a]	4.11[b]	4.02[b]	0.11	＜0.001	＜0.001	0.371

2.4　饲粮添加全株甘蔗对山羊血清生化指标的影响

由表 5 可以看出，各组血清总蛋白、白蛋白、球蛋白、生长激素（GH）、胰岛素样生长因子 1（IGF-1）含量及白球比均差异不显著（$P>0.05$）。SC100 组山羊血清免疫球蛋白 G（IgG）含量显著低于 CON 和 SC66 组（*P*＜0.05），SC66 组山羊血清免疫球蛋白 A（IgA）含量显著低于其他 3 组（*P*＜0.05）。随着全株甘蔗添

加比例的增加，血清免疫球蛋白 M（IgM）含量呈线性增加(P＜0.05)，SC66、SC100 组显著高于 CON、SC33 组(P＜0.05)；血清尿酸（UA）与肌酐（Crea）含量均呈二次曲线变化(P＜0.01)，CON、SC100 组血清 UA 含量显著高于 SC33、SC66 组(P＜0.05)，SC100 组血清 Crea 含量显著高于其他 3 组(P＜0.05)。

表 6　饲粮添加全株甘蔗对生长山羊血清生化指标的影响

Table 6　Effects of dietary whole sugarcane supplementation on serum biochemical indexes of goats (n=24)

项目	组别 Groups					P 值 P-value		
Items	CON	SC33	SC66	SC100	SEM	组间 Group	线性 Linear	二次 Quadratic
总蛋白 TP/(g/L)	61.73	60.17	63.76	59.69	0.77	0.212	0.629	0.065
白蛋白 ALB/(g/L)	28.68	30.43	29.67	30.27	0.40	0.514	0.525	0.305
球蛋白 GLB/(g/L)	33.06	29.74	34.10	29.42	0.90	0.184	0.467	0.760
白球比 A/G	0.87	1.04	0.89	1.05	0.04	0.216	0.365	0.769
免疫球蛋白 G IgG/(g/L)	22.57[ab]	20.67[bc]	24.55[a]	19.62[c]	0.55	0.004	0.274	0.113
免疫球蛋白 A IgA/(g/L)	0.74[a]	0.75[a]	0.70[b]	0.76[a]	0.01	0.015	0.607	0.046
免疫球蛋白 M IgM/(g/L)	0.98[b]	1.01[b]	1.10[a]	1.14[a]	0.02	＜0.001	＜0.001	0.865
胰岛素样生长因子 1 IGF-1/(g/L)	65.53	71.64	72.09	66.97	1.30	0.210	0.590	0.044
生长激素 GH/(ng/mL)	3.12	3.22	3.50	3.12	0.08	0.379	0.595	0.211
尿酸 UA/(μmol/L)	16.97[a]	12.47[c]	12.73[c]	13.39[b]	0.40	＜0.001	＜0.001	＜0.001
肌酐 Crea/(μmol/L)	71.43[c]	76.86[b]	71.60[c]	84.61[a]	1.29	＜0.001	＜0.001	＜0.001

2.5　饲粮添加全株甘蔗对山羊瘤胃发酵指标的影响

由表 7 可以看出，随着饲粮中全株甘蔗添加比例的增加，瘤胃液总挥发性脂肪酸（TVFA）浓度呈线性降低（P<0.05），CON 组瘤胃液 TVFA 浓度显著高于 SC66 组（P<0.05）。CON 组瘤胃液乙酸比例显著高于其他 3 组（P<0.05），SC100 组瘤胃液丙酸比例显著高于其他 3 组（P<0.05）。CON 组瘤胃液乙酸/丙酸显著高于其他 3 组（P<0.05），SC33 及 SC66 组显著高于 SC100 组（P<0.05）。各组之间瘤胃液 pH 和异丁酸、丁酸、异戊酸、戊酸比例以及 NH_3-N 浓度均无显著差异（P>0.05）。

表 7　饲粮添加全株甘蔗对生长山羊瘤胃发酵指标的影响

Table 7　Effects of dietary whole sugarcane supplementation on rumen fermentation indexes of goats (n=24)

项目 Items	组别 Groups				SEM	P 值 P-value		
	CON	SC33	SC66	SC100		组间 Group	线性 Linear	二次 Quadratic
pH	6.31	6.40	6.48	6.38	0.03	0.399	0.381	0.174
总挥发性脂肪酸 TVFA/(mmol/L)	36.24[a]	30.95[ab]	27.50[b]	32.66[ab]	1.11	0.031	0.033	0.437
乙酸 Acetic acid/%	72.57[a]	68.99[b]	67.46[b]	63.07[b]	0.86	<0.001	0.537	0.283
丙酸 Propionic acid/%	15.35[b]	18.52[b]	18.38[b]	23.24[a]	0.72	<0.001	0.125	0.063
异丁酸 Isobutyricacid/%	0.61	0.69	0.66	0.65	0.06	0.965	0.926	0.735
丁酸 Butyric acid/%	9.94	10.47	12.37	11.63	0.36	0.068	0.289	0.247
异戊酸 Isovaleric acid/%	1.30	1.10	1.02	1.20	0.08	0.688	0.518	0.755
戊酸 Valeric acid/%	0.23	0.23	0.11	0.21	0.02	0.420	0.304	0.177
乙酸/丙酸 Acetic acid/propionic acid	4.81[a]	3.75[b]	3.75[b]	2.79[c]	0.18	<0.001	0.176	0.067
氨态氮 NH_3-N/(mg/dL)	9.21	9.02	5.98	6.64	0.63	0.164	0.058	0.727

3 讨 论

3.1 饲粮添加全株甘蔗对山羊生长性能的影响

青绿饲料是家畜重要的饲料来源，青绿饲料与精料的合理搭配可以改善动物的生长性能。本试验中，各组山羊的 ADFI 随着全株甘蔗添加比例的增加而增加，Vieira 等[9]曾报道了相同的结果。辛明等[10]研究甘蔗尾梢颗粒对育肥羊生长性能的影响时发现，饲粮中甘蔗尾梢颗粒添加量增加，育肥羊 ADFI 增加。不同的是，黄世洋等[11]采取不同甘蔗秸秆配方饲喂山羊，各组 ADFI 与甘蔗秸秆添加量不呈比例；Canizares 等[12]发现，当甘蔗替代青贮玉米的比例达 67%时，干物质摄入量最低。产生这种现象的原因有 2 点：第一，本试验中，饲粮中 NDF 的含量随着甘蔗添加比例的增加而降低，而饲粮中 NDF 含量是影响动物采食量的主要因素，所以各组中随着甘蔗添加比例的增加山羊 ADFI 增加。第二，本试验饲粮青绿甘蔗在生长期采收，非纤维性碳水化合物（尤其是糖）含量高，水分充足，适口性好，可提高动物采食量。第三，甘蔗的质量及加工处理的方式等会影响山羊采食量。各组之间山羊终末体重与 ADG 差异不显著，这与 Junior 等[13]对荷斯坦奶牛生长性能的研究结果相似。唐振华等[14]在研究生长水牛时发现，青贮甘蔗尾梢与青贮玉米秸秆对水牛 F/G 差异不显著，与本试验结果一致。

3. 2 饲粮添加全株甘蔗对山羊营养物质表观消化率的影响

高立鹏等[15]认为同等 NDF 水平下，不同来源的纤维会影响山羊的营养物质表观消化率。甘蔗纤维消化率低，饲喂甘蔗时反刍动物咀嚼和反刍的时间增加[12]。周雄等[16]以饲粮中添加不同比例青贮甘蔗尾叶替代王草，

研究发现，粗蛋白质、粗脂肪等表观消化率会随添加比例的增加而呈波动的变化趋势，与本试验结果相似。本试验中，当甘蔗添加比例为 33%时，山羊干物质、有机物、总能、NDF 和 ADF 的表观消化率最高，可能是因为青绿甘蔗替代全株玉米青贮比例增加时，山羊的瘤胃和消化道对甘蔗的消化存在一个适应阶段，当甘蔗添加比例达到 33%时是一个适宜的阶段。过高的甘蔗添加比例导致营养物质表观消化率降低可能是因为甘蔗纤维不易被瘤胃微生物利用，摄入过量的甘蔗纤维，积聚在消化道的时间长，造成瘤胃负担。Rotta 等[17]设计不同比例的青贮玉米与青绿甘蔗分别作为粗饲料对牛消化代谢的影响，试验结果显示，饲粮中添加适量比例甘蔗可提高干物质、有机物表观消化率，青贮玉米组 NDF 表观消化率高于青绿甘蔗组。Teixeira 等[18]研究了甘蔗添加对象草青贮饲料营养价值的影响，发现添加一定量甘蔗会降低饲粮的 ADF 表观消化率。以上研究结果与本试验结果相同。总的看来，适量青绿甘蔗替代玉米青贮可提高断奶山羊营养物质表观消化率，说明饲粮中添加全株甘蔗是可行的。

3.3　饲粮添加全株甘蔗对山羊血清抗氧化指标的影响

机体通过氧化防御体系来维持氧化还原反应的平衡，其中 SOD、GR 等酶广泛存在机体内，是构成防御系统中的主要酶促体系，被视为有效的自由基清除剂。SOD 能反映机体细胞衰老程度，在体内起到清除超氧阴离子，将氧自由基歧化的作用，防止过氧化氢含量过高对机体造成损伤。GR 主要存在于细胞的线粒体和细胞液中，其生理功能不仅可以清除过氧化氢，还可以清除脂质过氧化物[19]。MDA 为膜上多不饱和脂肪酸受自由基攻击而产生的脂质过氧化物的代谢产物，由于自由基不稳定，很难被检测，试验中一般用 MDA 的含量来反映自由基反应的程度，间接反映细胞氧化程度，MDA 过量会引起细胞代谢失常，造成功能障碍。T-AOC 反映的是总的抗氧化能力，是机体抗氧化水平的综合指标，T-AOC 的强弱与机体健康状况密切相关。一般机体受损伤临床表现为血清 SOD、GR 活性减弱，血清 T-AOC 下降。本试验中，随着全株甘蔗添加比例的增加，血清 MDA 含量呈线性降低，血清 SOD 活性及 T-AOC 呈线性增加，血清 GR 活性变化不明显。这些生物活性物质含量的变化都可以表明饲粮添加全株甘蔗有助于增强机体抗氧化性能。Sun 等[20]和 Sartori 等[21]均从甘蔗梢及叶片等提取到多种酚类活性化合物。酚类活性化合物能有效清除机体内自由基，螯合金属离子，达到抗氧化的目的[22]。因此甘蔗作为一种青绿饲料，不仅适口性好，而且有较强的抗氧化作用，可以作为天然抗氧化剂的来源。

3.4　饲粮添加全株甘蔗对山羊血清生化指标的影响

血清总蛋白和白蛋白主要反映肝脏合成功能和机体蛋白质吸收代谢情况，与机体的免疫功能有密切的关系。血清总蛋白含量的下降表明机体肝功能异常，蛋白质代谢途径阻抑。机体大部分 UA 是由含氮物质经肾脏代谢由尿排出，正常情况下，血清中 UA 处于较为恒定的范围[23]，本试验发现，试验组血清 UA 含量低于 CON 组，可能的原因是全株甘蔗的蛋白质含量较全株玉米青贮低，导致机体内蛋白质的分解减慢，含氮物质的合成加速，

血清 UA 含量下降。虽然各组血清 UA 含量有差异，但都在正常范围内。闵育娜等[24]研究表明，血清 UA 含量随饲粮能量水平的降低而降低，这与本试验结果相似。血清 UA 和 Crea 含量变化与机体蛋白质代谢[25]、肾脏功能有关，其含量的异常与很多疾病有关[26]。本试验中，与 CON 组相比，试验组血清 UA 含量下降，SC66、SC100 组血清 Crea 含量上升，这说明饲粮中适量添加甘蔗有利于缓解肾脏负担。血清 IgA、IgM、IgG 是机体对外界作出免疫应答时产生的抗体，IGF-1 是促生长因子，是一种活性蛋白质多肽物质。从本试验数据可以看出，SC66 组血清 IgA 含量低于其他 3 组，SC66、SC100 组血清 IgM 含量高于 CON 组，SC66 组血清 IgG 含量高于 CON 组，各组血清 IGF-1 和 GH 含量无显著差异，这说明添加适量的甘蔗有助于提高机体免疫能力。Tatsumi 等[27]曾用甘蔗提取物混合米糠饼饲喂仔猪，发现仔猪体内嗜中性粒细胞和单核细胞吞噬能力显著增强，免疫功能增强，与本试验结果有相似之处。

3.5 饲粮添加全株甘蔗对山羊瘤胃发酵指标的影响

瘤胃 pH 是瘤胃发酵参数的重要指标，一般认为瘤胃 pH 正常变化范围是 5.5～7.5。本试验中，瘤胃 pH 为 6.31～6.48，处在正常范围之内，这与 Magalhães 等[6]在泌乳奶牛的研究结果相同。瘤胃 NH_3-N 是蛋白质和尿素等含氮物质降解的重要产物，瘤胃微生物可以利用 NH_3-N 合成微生物蛋白，用于合成微生物蛋白的 NH_3-N 有效范围为 5.0～30.0 mg/dL[28]。本试验各试验组瘤胃液 NH_3-N 浓度相近，且均在正常浓度范围内。这说明甘蔗的添加不会影响瘤胃微生物正常生长，可满足机体对微生物蛋白需要量，与 Gandra 等[1]对青贮玉米与青贮甘蔗 2 组饲粮对比结果相同。VFA 的代谢为瘤胃消化吸收提供了大部分能量，对维持瘤胃正常环境发挥极大作用。乙酸和丙酸通过不同的代谢途径为瘤胃微生物提供营养物质和能量，乙酸/丙酸可影响瘤胃微生物的结构，改变瘤胃发酵模式，影响能量的利用。丙酸是反刍动物肝脏糖异生的主要前体物，丙酸比例的增加意味着能量利用效率的提高[29]。本试验中，CON 组瘤胃液乙酸比例最高，丙酸比例较低，TVFA 浓度及乙酸/丙酸最高。随着全株甘蔗添加比例的增加，乙酸比例显著降低，丙酸比例增加，乙酸/丙酸降低。Da Andrade 等[30]研究发现，饲喂添加新鲜甘蔗饲粮的奶牛相比添加青贮玉米的奶牛，瘤胃液乙酸/丙酸降低，与本试验相似。瘤胃发酵模式由乙酸型向丙酸型的转变，表明全株甘蔗的添加提高了饲粮能量利用效率。本试验中未观察到山羊体重及 ADG 的显著变化，但山羊机体成分，尤其是能量沉积，有可能发生了变化，但有待于后续研究证实。

4 小 结

在本试验条件下，饲粮中添加全株甘蔗提高了山羊ADFI，饲粮中甘蔗添加比例为33%时山羊营养物质的表观消化率最高。饲喂适量比例的全株甘蔗还提高了山羊机体的抗氧化能力和免疫力。综合山羊生长性能、营养物质表观消化率、血清指标和瘤胃发酵指数，建议全株甘蔗适宜添加比例为33%～66%。

参考文献：

[1] GANDRA J R,MIRANDA G A,GOES R H T B,et al.Fibrolytic enzyme supplementation through ruminal bolus on eating behavior,nutrient digestibility and ruminal fermentation in Jersey heifers fed either corn silage-or sugarcane silage-based diets[J].Animal Feed Science and Technology,2017,231:29–37.

[2] MOREIRA J V,PEREIRA M L A,AZEVEDO S T,et al.Sugar cane fresh or ensiled with or without bacterial additive in diets for dairy cows[J].Acta Scientiarum Animal Sciences,2014,36(4):385–391.

[3] 张勇,郭海明,汤志宏, 等.油菜秆颗粒料对湖羊生产性能、瘤胃发酵参数及血液生化指标的影响[J].草业学报,2016,25(10):171–179.

[4] 樊懿萱,王锋,王强, 等.发酵木薯渣替代部分玉米对湖羊生长性能、血清生化指标、屠宰性能和肉品质的影响[J].草业学报,2017,26(3):91–99.

[5] PAULO B,CARDOSO C M M,PEDREIRA M D S,et al.Forage potential of sugarcane varieties for ruminant feeding[J].Acta Scientiarum Animal Sciences,2009,31(1):319–325.

[6] MAGALHÃES A L R,DE SOUZA CAMPOS J M,DA SILVA CABRAL Ⅲ L,et al.Effects of replacing corn silage with sugarcane on production and ruminal metabolism of lactating dairy cows[J].Revista Brasileira de Zootecnia,2006,35(2):591–599.

[7] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术.第2版[M].北京:中国农业大学出版社,2003.

[8] 刘洁.肉用绵羊饲料代谢能与代谢蛋白质预测模型的研究[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2012.

[9] VIEIRA D A,CEZÁRIO A S,SANTOS W B R D,et al.The performance of steers fed on sugarcane in natura or ensiled with concentrate[J].Journal of Agricultural Science,2017,9(3):226.

[10] 辛明,黄振勇,杨再位, 等.甘蔗尾梢颗粒饲料对育肥牛、羊生长性能的影响[J].饲料工业,2017,38(11):46–50.

[11] 黄世洋,梁源春,罗荣太, 等.不同甘蔗秸秆配方全混合日粮饲喂山羊效果评价[J].现代农业科技,2015(4):261–262.

[12] CANIZARES G I L,GONÇALVES H C,RODRIGUES L,et al.Ingestive behavior of dairy goats fed increasing levels of sugarcane in replacement of corn silage[J].Revista Brasileira de Zootecnia,2014,43(12):648–653.

[13] JUNIOR D T,MISSIO R L,SFORCINI M P R,et al.Productive performance of dairy cows fed with hydrolyzed sugarcane[J].Ciência Rural,2015,45(10):1848–1853.

[14] 唐振华,周玲,邹彩霞, 等.青贮甘蔗尾、青贮玉米秸秆对生长水牛生长性能、消化代谢及血液生化指标的影响[J].中国畜牧兽医,2016,43(1):92–100.

[15] 高立鹏,涂远璐,白云峰, 等.日粮中不同纤维来源对山羊生长性能及养分消化率的影响[J].饲料研究,2015(20):33–36.

[16] 周雄,周璐丽,王定发, 等.日粮中青贮甘蔗尾叶替代不同比例王草对海南黑山羊生长性能、养分表观消化率及血清生化指标的影响[J].中国畜牧兽医,2015,42(6):1443–1448.

[17] ROTTA P P,FILHO S C V,DETMANN E,et al.Digesta sampling sites and marker methods for estimation of

ruminal outflow in bulls fed different proportions of corn silage or sugarcane[J].Journal of Animal Science,2014,92(7):2996–3006.

[18] TEIXEIRA F A,VELOSO C M,PIRES A V,et al.Nutritive value of elephantgrass ensiled with cocoa meal and sugarcane[J].Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia,2009,61(6):1339–1345.

[19] 马森.谷胱甘肽过氧化物酶和谷胱甘肽转硫酶研究进展[J].动物医学进展,2008,29(10):53–56.

[20] SUN J,HE X M,ZHAO M M,et al.Antioxidant and nitrite-scavenging capacities of phenolic compounds from sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) tops[J].Molecules,2014,19(9):13147–13160.

[21] SARTORI J,MASSARIOLI A,VEIGA L F,et al.Antioxidant capacity of fractions of alcoholic extracts of sugarcane leaves[J].Zuckerindustrie.Sugar Industry,2013,138(3):165–169.

[22] NIKI E.Do antioxidants impair signaling by reactive oxygen species and lipid oxidation products?[J].FEBS LETTERS,2012,586(21):3767–3770.

[23] LIPKOWITZ M S.Regulation of uric acid excretion by the kidney[J].Current Rheumatology Reports,2012,14(2):179–188.

[24] 闵育娜,侯水生,高玉鹏, 等.日粮能量蛋白水平对肉仔鹅胴体性能和血液生化指标的影响[J].西北农林科技大学学报（自然科学版）,2005,33(6):40–44.

[25] 邓凯平,王锋,马铁伟, 等.日粮中添加不同水平紫苏籽对湖羊生长性能、瘤胃发酵及养分表观消化率的影响[J].草业学报,2017,26(5):205–212.

[26] ZUO Y G,YANG Y,ZHU Z,et al.Determination of uric acid and creatinine in human urine using hydrophilic interaction chromatography[J].Talanta,2011,83(5):1707–1710.

[27] TATSUMI T,KIKU Y,ICHIKAWA T,et al.Effects of dietary supplement of sugar cane extract on immune performance in growing piglets[J].Journal of the Japan Veterinary Medical Association,2011,64(12):946–949.

[28] THAO N T,WANAPAT M,CHERDTHONG A,et al.Effects of eucalyptus crude oils supplementation on rumen fermentation,microorganism and nutrient digestibility in swamp buffaloes[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2014,27(1):46–54.

[29] 熊本海,卢德勋,张子仪.瘤胃乙酸与丙酸摩尔比例的改变对瘤胃发酵及血液指标的影响[J].畜牧兽医学报,2002,33(6):537–543.

[30] DA ANDRADE F L,RODRIGUES J O P P,DETMANN E,et al.Nutritional and productive performance of dairy cows fed corn silage or sugarcane silage with or without additives[J].Tropical Animal Health and Production,2016,48(4):747–753.

Effects of Whole Sugarcane on Growth Performance, Nutrient Apparent Digestibility, Serum Indexes and Rumen

Fermentation Indexes of Goats

HUANG Wenqin[1] LYU Xiaokang[1] WANG Shiqin[1] YANG Chengjian[2] JIANG Xiaogang[3] DIAO Qiyu[1] ZHANG Naifeng[1*]

(1. *Feed Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Key Laboratory of Feed Biotechnology of Ministry of Agriculture*, *Beijing* 10081, *China*; 2. *Guangxi Buffalo Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Nanning* 530001, *China*; 3. *Guangxi Fusui Guangyang Agricultural and Animal Husbandry Co., Ltd*., *Fusui* 532100, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of dietary different percentage of whole sugarcane on growth performance, nutrient apparent digestibility, serum indexes and rumen fermentation indexes of goats. Ninety-six 4 to 5-month-old healthy weanling goats with similar weight were randomly divided into 4 groups with 3 replicates per group and 8 goats per replicate. Goats in the control group (CON group) were fed a basal diet, and the others in the experimental groups (SC33, SC66 and SC100 groups) were fed diets which used 33%, 66%, and 100% whole sugarcane replaced whole silage corn, respectively. The pre-experimental period lasted for 5 days, and the experimental period lasted for 30 days. The results showed as follows: 1) there were no significant differences in the final body weight, average daily gain and ratio of feed to gain of goats among all group (P>0.05). With the whole sugarcane percentage increased, the average daily feed intake （ADFI） of goats was increased linearly (P<0.05), and the ADFI of goats in SC100 group was significantly higher than that in other 3 groups (P<0.05). 2) With the whole sugarcane percentage increased, the apparent digestibility of dry matter, organic matter, gross energy, neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber （ADF） were decreased linearly (P<0.05), which in CON and SC33 groups was significantly higher than that in SC66 and SC100 groups (P<0.05). 3) With the whole sugarcane percentage increased, the serum total antioxidant capacity (T-AOC) and superoxide dismutase (SOD) activity were increased linearly (P<0.05), which in SC66 and SC100 groups was significantly higher than that in CON and SC33 groups (P<0.05); the serum malondialdehyde (MDA) content was decreased linearly (P<0.05), which in SC66 and SC100 groups was significantly lower than that in CON and SC33 groups (P<0.05). 4) The serum immunoglobulin G content in SC100 group was significantly lower than that in CON and SC66 groups (P<0.05), the serum immunoglobulin A content in SC66 group was significantly lower than that in other 3

*Corresponding author, professor, E-mail: zhangnaifeng@caas.cn （责任编辑 武海龙）

groups (P<0.05), the serum immunoglobulin M content in SC66 and SC100 groups was significantly higher than that in CON and SC33 groups (P<0.05). The serum uric acid content in CON and SC100 groups was significantly higher than that in SC33 and SC66 groups (P<0.05), the serum creatinine content in SC66 group was significantly higher than that in other 3 groups (P<0.05). 5) The concentration of total volatile fatty acids in rumen fluid in CON group was significantly higher than that in SC66 group (P<0.05), the acetic acid proportion in CON group was significantly higher than that in other 3 groups (P<0.05), the propionic acid proportion in SC100 group was significantly higher than that in other 3 groups (P<0.05), the acetic acid/propionic acid in CON group was significantly higher than that in other 3 groups (P<0.05). In conclusion, dietary whole sugarcane supplementation can improve the feed intake of goats, enhance the body antioxidant capacity and immunity. The recommended suitable percentage of whole sugarcane is 33% to 66%.

Key words: whole sugarcane; goats; growth performance; serum indexes; rumen fermentation